

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

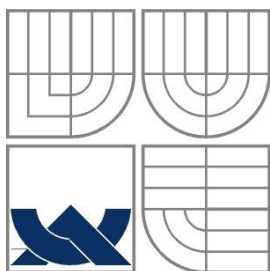
## AKUMULÁTORY PRO NEZÁVISLOU TRAKCI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

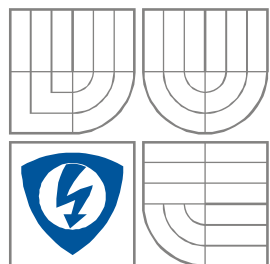
VÍTĚZSLAV HLADIŠ

BRNO 2012



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
ENGINEERING

# **AKUMULÁTORY PRO NEZÁVISLOU TRAKCI**

**BATTERIES FOR INDEPENDENT TRACTION**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

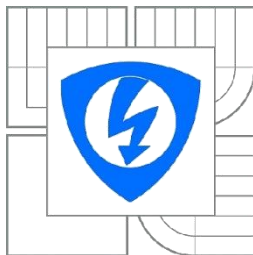
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**VÍTĚZSLAV HLADIŠ**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. Petr Procházka, Ph.D.**

**BRNO, 2012**



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky**

# **Bakalářská práce**

bakalářský studijní obor

**Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

**Student:** Vítězslav Hladiš

**ID:** 119432

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

**NÁZEV TÉMATU:**

**Akumulátory pro nezávislou trakci**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Vytvořte přehled typů akumulátorů.
2. Zjistěte u všech typů akumulátorů jejich základní parametry (hmotnost, cena, hustota energie/kg) a na základě těchto parametrů akumulátory porovnejte.
3. V závislosti na hmotnosti, schopnosti akumulovat el. energii a ceně vyberte vhodné typy akumulátorů pro pohony elektromobilů, invalidních vozíků, elektrických kol a skútrů.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Dle pokynů vedoucího

**Termín zadání:** 21.9.2011

**Termín odevzdání:** 31.5.2012

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Procházka, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je vytvořit literární přehled všech typů akumulátorů určených pro pohon v nezávislé trakci (dopravě). Jednotlivé typy akumulátorů mezi sebou porovnat a na základě jejich parametrů (hmotnost, cena, hustota energie /kg) vybrat vhodný typ akumulátoru pro pohon elektromobilů, invalidních vozíků, elektrických kol a skútrů. Součástí bakalářské práce není žádný praktický výrobek ani příloha. Jedná se pouze o teoretický rozbor dané problematiky.

## **Abstract**

The aim of this work is a review of literature of all types of batteries designed for driving in an independent traction (transport). The various types of batteries with them and compare based on their parameters (weight, cost, energy density / kg) to select the appropriate type of battery to drive electric cars, wheelchairs, electric bikes and scooters. The thesis is not a practical product or supplement. This is only a theoretical analysis of the issue.

## **Klíčová slova**

trakční akumulátor; hmotnost; cena; hustota; kapacita; elektrické kolo; elektrický invalidní vozík; elektromobil; elektrický skútr

## **Keywords**

traction battery, weight, price, density, capacity, electric bicycle, electric wheelchair, electric, electric scooter

## **Bibliografická citace**

HLADIŠ, V. Akumulátory pro nezávislou trakci. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Procházka, Ph.D..

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou semestrální práci na téma **Akumulátory pro nezávislou trakci** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

Podpis autora .....

## Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrální práce **ing. Petr Procházka Ph.D.** za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

V Brně dne .....

Podpis autora .....



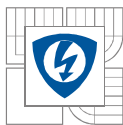
# OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK .....	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD .....	11
1 PŘEHLED V SOUČASNOSTI NEJPOUŽÍVANĚJŠÍCH TYPŮ AKUMULÁTORŮ URČENÝCH PRO POHON V NEZÁVISLÉ TRAKCI.....	13
1.1 NiCd AKUMULÁTORY .....	13
1.2 NiMH AKUMULÁTORY .....	14
1.3 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY.....	14
1.4 LiFePO <sub>4</sub> AKUMULÁTORY .....	15
1.5 LI-ION AKUMULÁTORY (LION AKUMULÁTORY) .....	16
1.6 LITHIUM POLYMEROVÉ (LIPOL) AKUMULÁTORY .....	17
2 VÝBĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTROMOBILŮ .....	19
2.1 POŽADAVKY KLADENÉ NA „IDEÁLNÍ” AKUMULÁTOR PRO POHON ELEKTROMOBILU .....	19
2.2 VÝBĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTROMOBILU Z HLEDISKA JEHO KONSTRUKCE .....	20
2.3 VÝVĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTROMOBILU Z HLEDISKA JEHO OPTIMÁLNÍ CENY, HMOTNOSTI A VELIKOSTI.....	21
2.4 ZÁSADY BEZPEČNOSTI.....	22
2.5 VÝBĚR VHODNÉHO TYPU AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTROMOBILU.....	23
3 VÝBĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTRICKÝCH KOL.....	25
3.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ELEKTRICKÝCH KOL .....	25
3.2 VÝBĚR VHODNÉHO TYPU AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTROKOLA.....	27
4 VÝBĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTRICKÝCH INVALIDNÍCH VOZÍKŮ .....	29
4.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY INVALIDNÍCH VOZÍKŮ.....	29
4.2 VÝBĚR VHODNÉHO TYPU AKUMULÁTORU PRO POHON INVALIDNÍHO VOZÍKU .....	31
5 VÝBĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTRICKÝCH SKÚTRŮ .....	33
5.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ELEKTRICKÝCH SKÚTRŮ .....	33
5.2 VÝBĚR VHODNÉHO TYPU AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTRICKÉHO SKÚTRU .....	34
6 ZÁVĚR.....	35
LITERATURA .....	36
PŘÍLOHY .....	38



## SEZNAM OBRÁZKŮ

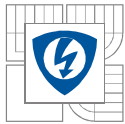
<i>Obrázek 1 Nejprodávanejší elektromobily roku 2012 [2].....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 2: Řez Lipol článkem (upraveno autorem) .....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 3 Energetická hustota akumulátorů [9].....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 4: lithiový článek čínského výrobce Thunder-Sky typ LPF40AH [11] .....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 5: Městské elektrické kolo Citybikes MyCity Edison III, výkon motoru 250W [12] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 6: Terénní horské kolo MagicPie 750W/36V, aku 12Ah LiFePO4 – domácí přestavba [13].....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 7: Samostatný akumulátor LiFePO4, 36 V ,výrobce AVACOM, 360Wh určený jako optimální varianta pro pohon elektrokola v pevném hliníkovém pouzdře vhodný pro upevnění na nosič včetně zámku [14].....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 8 Stejnoseměrný elektromotor [15] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 9: Elektrický vozík TDX SP [16].....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 10: Bezúdržbový olověný akumulátor Varta Professional BEEP CYCLE typ LFD60, 12V, 60Ah,výrobce Johnson Control určený jako optimální varianta pro pohon elektrických invalidních vozíků [17].....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 11 Akumulátor LiFePO<sub>4</sub>, 48V,20Ah,výrobce Golden motor, model LFP 4820M určený jako optimální varianta pro pohon elektrických skútrů.[18] .....</i>	<i>34</i>



---

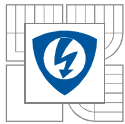
## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 výběr vhodného akumulátoru pro pohon elektromobilu .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 2 Výběr vhodného akumulátoru pro pohon elektrických kol.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 3 Technická data k elektrickému vozíku TDX SP [16].....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 4: Výběr vhodného akumulátoru pro pohon elektrického invalidního vozíku .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 5 Výběr vhodného akumulátoru pro pohon elektrického skútru .....</i>	<i>34</i>



## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

BMS	elektronický systém, který akumulátor odpojí v případě poklesu na minimální hodnotu napětí jednotlivých článků.
ABS	elektronický ochranný systém zabezpečující zablokování kol při intenzivním brzdění
ESP	elektronický stabilizační program (doplněk systému ABS)
NiCd	Nikl-kadmiový akumulátor
NiMH	Nikl-Metal-Hydridový akumulátor
Li-ion (Lion)	Lithium-iontový akumulátor
LiFePO <sub>4</sub>	Lithium-železo-fosfátový akumulátor
LiFeYPO <sub>4</sub>	Lithium-železo-fosfátový akumulátor s příměsí yttria
Lipol	Lithium-polymerový akumulátor
Balancer	elektronická jednotka s procesorem pro řízení nabíjení jednotlivých článků
AGM	elektrolyt v akumulátoru je nasáknut do vaty ze skelných vláken
GEL	elektrolyt v akumulátoru je ztužený ve formě gelu
VRLA	akumulátory řízené ventilem



## ÚVOD

Elektromobily se v České republice prozatím počítají doslova na kusy a tak se není čemu divit, že všeobecné znalosti obyvatel o elektromobilech jsou prakticky minimální. Lidé častokrát ani nevědí, že se nějaké elektromobily v současnosti vůbec vyrábí o znalostech jejich parametrů a cen ani nemluví a ti, kteří alespoň tuší, že něco takového existuje mají častokrát mylné představy. Tuto vinu kladu hlavně na vrub veřejným médiím, které o této problematice širokou veřejnost málo informují. Přitom elektromobily se vyznačují celou řadou výhod, jakými jsou například:

- Nepotřebují palivovou nádrž, palivové čerpadlo, spojku, vstřikování paliva, olej, olejový filtr, palivový filtr, olejové čerpadlo, vodní chlazení, čidlo tlaku oleje, výfuk, turbodmychadlo, katalyzátor, rozvodový řemen, písty, ventily, válce, setrvačnik, svíčky, startér, zapalování, rozdělovač.

Všechny výše uvedené části se u klasického automobilu dříve či později porouchají a musí se vyměnit.

- Provozní náklady jsou zlomkem nákladů s porovnáním automobilu se spalovacím motorem. Elektromobily se vyznačují velkou účinností, spolehlivostí a životností.
- Dynamika jízdy je podstatně lepší, zrychlení vyšší a bez záškubů, které vznikají při řazení u automobilu se spalovacím či vznětovým motorem.
- Elektromotor má pouze jeden pohyblivý díl a tím je rotor.
- Díky podstatně jednodušší konstrukci je poruchovost elektromobilu prakticky nulová.
- S elektromobilem se nemusí jezdit na emise a taky odpadá výměna oleje v motoru.
- U elektromobilu se nemusí měnit brzdové destičky, elektromobil při brzdění vrací přes rekuperaci energii zpět do akumulátoru.
- Elektromobil má pouze nepřímé emise CO<sub>2</sub> a může být provozován bez emisí, tedy přispívá k ochraně životního prostředí.
- Cena nafty a benzínu roste rychleji než cena elektřiny a tento trend je velmi pravděpodobný i do budoucna.
- Elektřinu můžeme vyrobit mnoha způsoby (vodní, větrné, paroplynové, tepelné, sluneční, kondenzační a jaderné elektrárny), zatímco ropa patří mezi neobnovitelné zdroje energie.
- Některé pojišťovny poskytují slevy na povinném ručení v případě pojištění elektromobilu.[1]

### Nevýhody elektromobilů

- Pořizovací cena – např. NISSAN LEAF 900 000 Kč S DPH, TESLA ROADSTER 2 400 000 Kč S DPH. Pomineme-li přestavby klasických automobilů.
- U lidí, kteří naježdí denně více než 300km je elektromobil prozatím nepoužitelný. Kvůli zatím ještě malému množství dobíjecích stanic v České republice a prozatím stále omezené dojezdové vzdálenosti, která je dána velikostí kapacity a typu akumulátorů (kolem 150 km na jedno plné nabití). Při použití moderních LiFePO4 akumulátorů je dojezd kolem 200 až 250 km.
- Nehodí se pro lidi bez vlastní garáže.
- Moderní elektromobil nelze sehnat – dodací lhůta 3-4 měsíce. V česku prodávané elektromobily jsou spíše jen „elektrovoztka“ pro městský provoz.[1]

### Porovnání ekvivalentních dílů elektromobilu a klasického automobilu:

Alternátor spalovacího auta je svou složitostí stejný, jako elektromotor sloužící k pohonu i brzdění elektromobilu. Akumulátory používané v elektromobilu jsou svojí konstrukcí podstatně složitější a taky dražší, než startovací olověné akumulátory ale díky novým technologiím na bázi Lithia je jejich životnost několikanásobně vyšší. Hlavními rozdíly jsou prozatím cena a rozměry. Řídící elektronika není o nic složitější než u automobilu se spalovacím motorem např. (ABS, ESP). [1]

Nejdříve vytvořím přehled typů trakčních akumulátorů a napíšu jejich možné výhody a nevýhody. Potom se zaměřím na akumulátory s technologií lithia a jejich různé varianty, protože se domnívám, že vzhledem k současnému dění na poli elektromobility dojde k jejich značnému využití právě v tomto směru. Potom rozeberu vhodné akumulátory pro pohon elektrických invalidních vozíků, kol a skútrů a vyberu nejvhodnější řešení pro ten který typ trakce. Věřím, že se mi po napsání této práce podaří splnit body osnovy a vytvořit dílo, které bude inspirací a zdrojem informací nejen pro mne ale i pro ostatní čtenáře.



Mitsubishi iMIEV

Peugeot iOn

Citroen C-Zero



Nissan LEAF



Smart ED

Obrázek 1 Nejprodávanější elektromobily roku 2012 [2]

# 1 PŘEHLED V SOUČASNOSTI NEJPOUŽÍVANĚJŠÍCH TYPŮ AKUMULÁTORŮ URČENÝCH PRO POHON V NEZÁVISLÉ TRAKCI

## 1.1 NiCd akumulátory

Nikl-kadmiové akumulátory označujeme zkratkou NiCd. Jedná se o takové druhy galvanických článků, kde kladná elektroda je tvořena z hydroxidu niklu a zápornou tvoří jedovaté kadmium. Obě elektrody odděluje separátor obsahující elektrolyt (hydroxid draselný). Společnost SAFT CORPORATION má registrovanou ochrannou známku zkratkou NiCd. Velkou výhodou těchto akumulátorů je, že jim nevadí skladování ve vybitém stavu a s tím související odolnost proti hlubokému vybití. V porovnání s NiMH nebo Lion akumulátory se NiCd akumulátory vyznačují relativně nižší měrnou kapacitou, což je jejich určitá nevýhoda. Značným a problematickým rysem, kterými se tyto akumulátory vyznačují je jedovatost kadmia a tedy i z toho logicky vyplývající povinný sběr NiCd akumulátorů stejně jako v případě olověných Pb akumulátorů. Svými vlastnosti se NiCd akumulátory velmi podobají novějším NiMH akumulátorům. NiCd akumulátory mohou dodávat vysoké proudy přepětí s relativně nízkým vnitřním odporem. Skutečně největší nevýhodou těchto akumulátorů je paměťový efekt (označuje se tak stav, kdy akumulátory postupně ztrácí svoji maximální kapacitu, jsou-li opakovaně dobíjeny po částečném vybití). Paměťovým efektem trpí jak NiCd tak NiMH akumulátory. Právě proto je jejich použití v elektromobilech se systémem rekuperace nevhodné. Tyto akumulátory využívají hybridní vozy (kombinace spalovacího motoru a elektromotoru) například Toyota Prius. Jmenovité napětí jednoho článku je 1,2V. [3]

### *Výhody NiCd akumulátorů*

- Nevadí jim úplné a dlouhodobé vybití
- Můžou být skladovány zcela vybité
- Dostačující počet dobíjecích cyklů (více jak 2000)
- Snesou 5x rychlejší nabíjení než NiMH akumulátory
- Vysoká proudová zatížitelnost
- Odolnost proti mrazu až do -15 °C

### *Nevýhody NiCd akumulátorů*

- Nižší účinnost dobíjení (66-90%)
- Menší hustota energie na kilogram (40-60 Wh/kg)
- Dražší výroba a tedy i vyšší cena (v porovnání například s olověnými akumulátory)
- Rychlé samovybíjení (až 20% za měsíc)
- Jsou velmi toxické
- Nutná ekologická likvidace
- Trpí paměťovým efektem

## 1.2 NiMH akumulátory

Nikl-metal-hydridové akumulátory jsou označovány zkratkou NiMH. Jedná se o další druhy galvanických článků, které jsou dnes nejrozšířenějším a nejčastěji používaným typem akumulátorů. Kladná elektroda je tvořena z hydroxidu niklu a záporná je z kovové slitiny schopné vázat vodík. Separátor oddělující obě elektrody obsahuje alkalický elektrolyt (hydroxid draselný). Ve srovnání s jemu podobnými NiCd akumulátory se vyznačují NiMH akumulátory přibližně dvojnásobnou až trojnásobnou kapacitou. Schopnost dodávat poměrně velký proud, značně velká kapacita spolu s přijatelnou cenou jsou hlavními důvody jejich velkého rozšíření. Další velkou výhodou NiMH akumulátorů je jejich schopnost udržet napětí téměř až do jejich úplného vybití. Jejich výroba je závislá na importu kovů hydroxidu niklu s obsahem titanu, vanadu nebo lanthanoidů. Jedná se o kovy, které se dováží zejména ze zemí Jihovýchodní Asie. Měrná energie dosahuje hodnot až 80 Wh/kg. Tyto akumulátory jsou zejména známy z ručního nářadí, kde se používají k napájení nejrůznějších typů elektrických vrtaček a šroubováků. Přijatelná je i jejich životnost. Jmenovité napětí jednoho článku je 1,2V.[4]

### *Výhody NiMH akumulátorů*

- Cena NiMH akumulátorů – jsou poměrně levné v porovnání s ostatními druhy
- Udrží napětí až do jejich úplného vybití
- Jsou ekologické
- Dvojnásobná až trojnásobná kapacita v porovnání s NiCd

### *Nevýhody NiMH akumulátorů*

- Nižší účinnost dobíjení (66%)
- Nižší hustota energie na kilogram (30-80Wh/kg)
- dochází k rychlému samovybíjení (až 20% za měsíc u některých typů akumulátorů)
- V porovnání s NiCd akumulátorem má NiMH menší počet nabíjecích cyklů (cca1000)
- Trpí paměťovým efektem

## 1.3 Olověné akumulátory

Aktivní hmotu záporné elektrody tvoří houbovitě olovo. Kladná elektroda je tvořena z oxidu olovičitého ( $\text{PbO}_2$ ). V olověných akumulátorech je elektrolyt tvořen roztokem zředěné kyseliny sírové o objemu 35% plně nabitého akumulátoru. Tento roztok může být ztužený ve formě gelu (gelové akumulátory) nebo může být nasáknut do vaty ze skelných vláken (akumulátory typu AGM). Aktivní hmota záporné i kladné elektrody se vybíjením přeměňuje na síran olovnatý ( $\text{PbSO}_4$ ) a elektrolyt je obohacován vodou a ochuzován o kyselinu sírovou. Koncentrace elektrolytu tedy při vybíjení klesá a při nabíjení naopak stoupá. Velká nevýhoda olověných akumulátorů spočívá v ději zvaném sulfatace. Akumulátor je při tomto ději po delší dobu v plně vybitém nebo i částečně vybitém stavu a na jeho elektrodách dochází k nevratným změnám tzv. sulfataci. Olověný akumulátor je tedy nutné stále udržovat v nabitém stavu.

Napětí jednoho článku se pohybuje kolem 2V. Tyto akumulátory jsou zejména svojí nízkou cenou a schopností dodávat velký proud určeny jako ideální varianta pro klasické automobily. Olověné akumulátory jsou spolu s Nikl-kadmiovými akumulátory z hlediska ekologie nejhorší možnou variantou, protože jsou velmi toxické. Ke své činnosti kromě olova vyžadují taky teoreticky 1 kg kyseliny sírové ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) na 2 kg olova. V praxi je ale tato hodnota vyšší hlavně kvůli konstrukčním prvkům, které se s ohledem na silnou agresivitu kyseliny sírové vyrábějí z olova a samozřejmě kvůli nezbytné vodě v elektrolytu. Koncentrace elektrolytu se v průběhu pracovního cyklu velmi mění.[5]

#### Výhody olověných akumulátorů

- Známý téměř 200 let
- Dobrá úroveň bezpečnosti
- Odolnost proti zkratům a teplotám
- Akumulátory jsou schopny dodávat velké proudy
- Cena olova v porovnání s niklem je asi desetinová
- Dostupnost materiálů potřebných pro výrobu akumulátorů
- Dobrá recyklovatelnost tepelným procesem, plasty shoří, olovo vyteče z nístěže pece a kyselina sírová ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) se zachytí ve vápnu

#### Nevýhody olověných akumulátorů

- Nižší účinnost dobíjení (70-92%)
- Malá hustota energie na kilogram ( 30-40 Wh/kg)
- Malý počet dobíjecích cyklů (500-800)
- **Nutná ekologická likvidace!**
- Velká hmotnost (200g olova vyžaduje 100g  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a k tomu 3x nadbytek hmoty vody)

## 1.4 $\text{LiFePO}_4$ akumulátory

Vyznačují se malou hmotností, velkými vybíjecími proudy a dlouhou životností až 3000 cyklů. Tyto akumulátory využívají pokročilé technologie a materiály. Jedná se o další verzi Lithium-iontových nabíjecích akumulátorů, které jsou postaveny na Lithium-železo-fosfátu ( $\text{LiFePO}_4$ ). Anoda je jako u všech ostatních akumulátorů vyrobena z uhlíku oproti katodě, která je vyrobena právě z Lithium-železo-fosfátu. Odtud tedy název  $\text{LiFePO}_4$ . Tyto akumulátory se vyznačují schopností dodávat vysoký proud a jejich velkou předností je, že při extrémních podmínkách nevybuchují. Jmenovité napětí jednoho článku je 3,25V.

Tyto akumulátory mají o něco nižší napětí a taky nižší hustotu energie. Technologie  $\text{LiFePO}_4$  je využívána hlavně díky svým nesporným výhodám mezi které patří například to, že tyto akumulátory jsou zcela netoxické. Na rozdíl od Li-ion akumulátorů, mají dobrou teplotní stabilitu, velmi dobrý elektrochemický výkon a velkou kapacitu.[6]



---

***Výhody Lithium-železo-fosfátových akumulátorů (LiFePO<sub>4</sub>)***

- Téměř plochá křivka až do úplného vybití akumulátoru
- Netoxické
- Nemají paměťový efekt
- Bezpečné oproti jiným typům lithiových akumulátorů
- Vysoká životnost (3-10let)
- Vynikající dobíjecí účinnost (95%)
- Levnější oproti jiným lithiovým bateriím
- Vysoký počet dobíjecích cyklů (2000-3000)
- Vyšší hustota energie (dnes běžně k dostání i 180Wh/kg i více)

***Nevýhody Lithium-železo-fosfátových akumulátorů (LiFePO<sub>4</sub>)***

- Časté vybití pod 33% kapacity akumulátoru může způsobit jeho předčasné selhání
- Rychlé dobíjení má za následek snižování životnosti akumulátoru

## **1.5 Li-ion akumulátory (Lion akumulátory)**

Celým názvem Lithium-iontové akumulátory, zkráceně též Lion akumulátory. Anoda je vyrobena z uhlíku a katoda z oxidu kovů. Jmenovité napětí článku je 3,6 V. První návrh tohoto akumulátoru proběhl v roce 1960 a poté byl akumulátor dále vyvíjen v Bellových laboratořích. První prodejní verzi vyrobila firma SONY v roce 1991. Elektrolytem je Lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Jedná se o takové akumulátory, ve kterých se Lithium-ionty pohybují mezi katodou a anodou. Vyznačují se vysokou hustotou energie vzhledem k objemu, což se výborně hodí pro přenosná zařízení. Jejich nejčastější použití dnes najdeme ve spotřební elektronice. Vyznačují se vynikajícím poměrem energie/hmotnost. Mají pomalé samovybíjení a nemají paměťový efekt, kterým se vyznačují například olověné trakční akumulátory. Lion akumulátory mají velké množství vlastností, které jejich použití například v elektromobilech značně omezují. Největší nevýhodou těchto akumulátorů je jejich rychlé stárnutí, což vede k výraznému snižování kapacity nezávisle na používání. Porovnáme-li NiCd a NiMH akumulátory mají Lion akumulátory vyšší vnitřní odpor a právě proto z nich není možné získat tak vysoký proud jako u NiCd a NiMH akumulátorů. V případě přehřátí akumulátoru nebo k jeho připojení na vyšší napětí může akumulátor explodovat.[7]

### *Výhody Lion akumulátorů*

- Dobíjecí účinnost 80-90%
- Nemají paměťový efekt
- Malé samovybíjení
- Vysoké nominální napětí
- Málo toxické
- Velmi vysoká hustota energie na kilogram (160Wh/kg)
- Můžou být vyrobeny v různých tvarech

### *Nevýhody Lion akumulátorů*

- Nedoporučuje se opakované hluboké vybíjení Lion akumulátorů
- Nemají rády vysoké teploty okolí (30°C a více) a to se stoupajícím věkem akumulátoru čím dál tím méně

## 1.6 Lithium polymerové (Lipol) akumulátory

Jedná se o nové druhy elektrochemických článků, které se ve velké míře používají v mobilních telefonech, notebookech, kamerách, fotoaparátech a dalších přenosných zařízeních.

Tato nová technologie pochází z lithium-iontových článků. Z toho tedy vyplývá, že jmenovité napětí jednoho článku je také 3,6V stejně jako u Lion akumulátorů. Velkou výhodou těchto akumulátorů je jejich malá hmotnost, vysoká kapacita, velká výkonnost a velmi malé samovybíjení. Jedná se o akumulátory, které jsou neustále vyvíjeny a tak se dá předpokládat vzhledem k tomu, že je stále zvyšována jejich kapacita i výkonnost, že v brzké době nahradí starší typy používaných akumulátorů. **Mezi velkou nevýhodou těchto akumulátorů patří nutnost používat elektronické ochrany jednotlivých článků při jejich neustálém nabíjení a vybíjení.** Pokud by byli výrobcem překročeny hodnoty článků došlo by při jejich nabíjení nebo vybíjení k jejich poškození. Toto poškození by bylo nevratné a akumulátor by byl tedy nenávratně zničen. Můžeme tedy pouze používat nabíječe určené přímo pro tyto články, z kterých se skládají Lipol akumulátory. Z toho logicky vyplývá, že velkou nevýhodou těchto článků je jejich křehkost a zranitelnost.

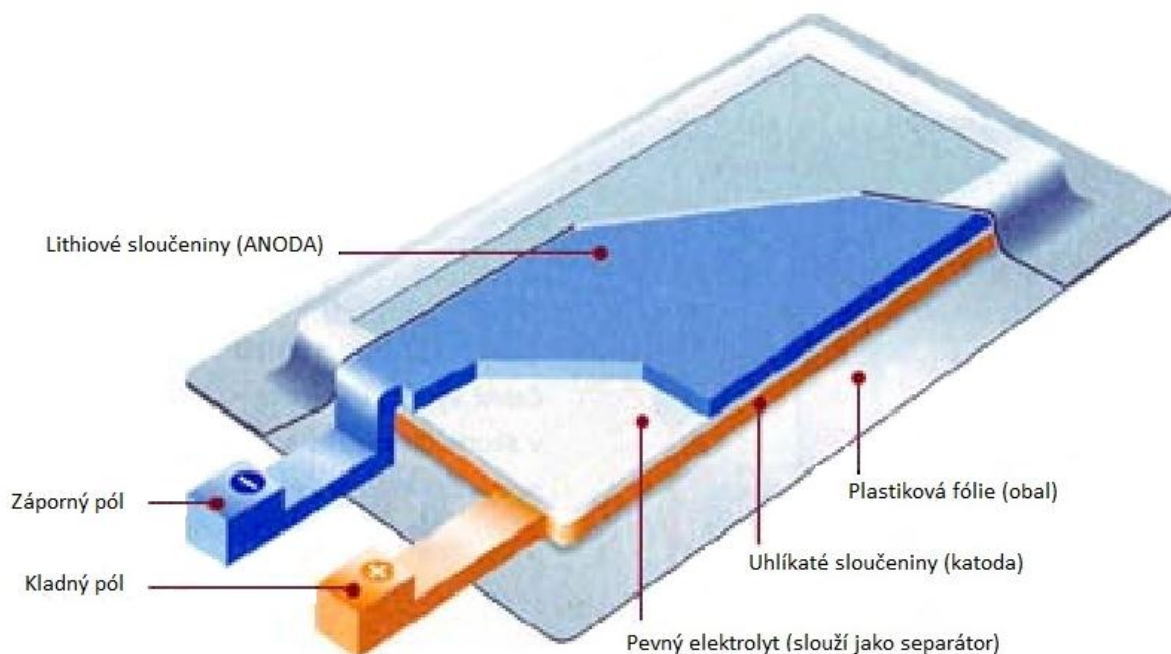
Obaly jednotlivých článků jsou tvořeny kovovou fólií, která je bohužel málo mechanicky odolná a může dojít při jejím poškození k požáru. Teplota nabíjených článků musí být v rozsahu 0°C až +45°C. Nikdy se nesmí nabíjet články polované opačně. Teplota při vybíjení má být v rozsahu -10°C až +60°C.

### ***Výhody Lipol akumulátorů***

- Nemají paměťový efekt
- Minimální samovybitení (řádově procenta za 1 měsíc)
- Po 100 cyklech při vybíjení max. proudem pokles kapacity o 15 až 20%
- Žádné vložné pojistky (není zvyšován vnitřní odpor akumulátoru)
- Kladný hliníkový vývod je standartně plátován niklem pro snadné pájení
- Velmi malý vnitřní odpor (jednotky  $m\Omega$ )
- Jedna z největších hustot energií mezi akumulátory (130-200 Wh/kg)

### ***Nevýhody Lipol akumulátorů***

- Zkrat může nenávratně zničit nebo poškodit baterii
- Vybíjení je nutno ukončit při napětí 3V na článek (jinak hrozí zničení nebo poškození článku)
- Při nabíjení se nesmí překročit hodnota 4,2V na článek akumulátoru
- Pro dosažení dlouhé životnosti musí být při nabíjení použit vyrovnávač napětí článku - BMS



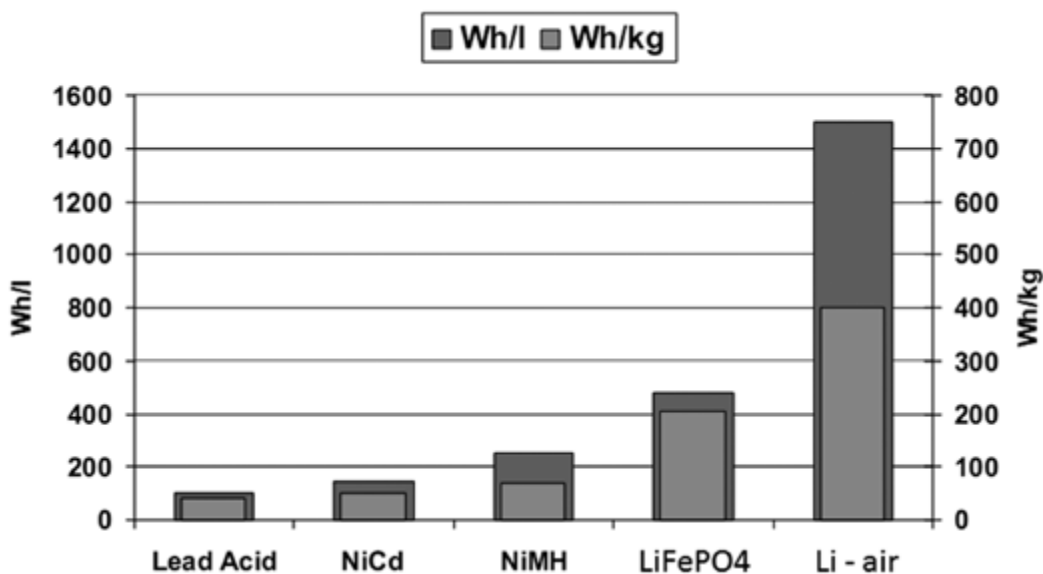
*Obrázek 2: Řez Lipol článkem (upraveno autorem)*

## 2 VÝBĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTROMOBILŮ

Akumulace elektrické energie, její rychlost, způsob ukládání a její doplňování to jsou prvky, které zásadním způsobem ovlivňují použitelnost vozidel s elektrickým pohonem. Pro jehož napájení sebou vezou elektrickou energii potřebnou pro ujetí co možná nejdelší vzdálenosti. Počet všech prvků vyskytujících se v přírodě je omezen číslem 92. Vzhledem k těmto prvkům můžeme s jistotou říci, že žádný jiný prvek nebo jeho sloučeniny neposkytne stejnou nebo větší měrnou energii než lithium a lithné sloučeniny. Proto jakékoliv čekání na výrazný pokrok v tomto směru je jenom zbytečná ztráta času a právě proto se v převážné míře zaměřím na tyto typy akumulátorů. Protože požadavek na velkou měrnou energii je u elektromobilu na prvním místě.

### 2.1 Požadavky kladené na „ideální“ akumulátor pro pohon elektromobilu

- 1) Velký výkon (KW/kg) a velká kapacita (Ah/kg)
- 2) Příznivá cena, jak z hlediska výroby, tak z hlediska prodeje
- 3) Žádný nebo minimální paměťový efekt
- 4) Dlouhá skladovatelnost a co nejmenší samovybíjení ( v bezproudém stavu)
- 5) Velký počet pracovních cyklů a velká životnost
- 6) Odolnost proti extrémním teplotám
- 7) Odolnost proti zkratům
- 8) Snadná dostupnost materiálů potřebných pro výrobu akumulátoru
- 9) Recyklace
- 10) **Bezpečnost! [8]**



Obrázek 3 Energetická hustota akumulátorů [9]

## 2.2 Výběr vhodného akumulátoru pro pohon elektromobilu z hlediska jeho konstrukce

Nejpoužívanější akumulátory v elektromobilech využívají v dnešní době chemické složení  $\text{LiFePO}_4$  čili lithium železo fosfátu. Někteří výrobci dotují tyto akumulátory yttriem a označují je  $\text{LiFeYPO}_4$ . Akumulátory, které jsou složené z těchto článků mají energetickou hustotu obvykle 84 až 92 Wh/kg nebo taky kWh/t. Této hustoty dosahují například akumulátory od čínského výrobce Winston. Dojezdová vzdálenost elektromobilu při použití této technologie odpovídá zhruba 500 km na tunu akumulátorů. Za energetickou kapacitu akumulátoru řekněme 100 Ah (napětí 3,2V na článek, váha 3,8kg) zaplatíme v dnešní době (březen 2012) kolem 3500 Kč (s DPH). Vyšší hustotu energie mají například akumulátory Kohan (140 kWh/t). Nicméně cena za 100 Ah akumulátor (3,2V na článek, váha 3,8kg) je více než trojnásobná 11500 Kč. Dojezd vozidla s tunou těchto akumulátorů dosahuje hranice 700 km. Při průmyslové výrobě těchto akumulátorů s technologií  $\text{LiFePO}_4$  se očekává hranice jejich hustoty kolem 200 kWh/t. Tato hodnota již značně eliminuje dojezd elektromobilů v porovnání se spalovacím motorem (1000 km/t) ale v praxi se prozatím velmi složitě dosahuje hlavně kvůli finančnímu hledisku. Jedná se zejména o zásobu elektrické energie, která využívá různé materiály, jako jsou například balancery, propojky, kabely, ohřev, chlazení, nosníky, které zvyšují celkovou hmotnost až o 30% a taky celkové pořizovací náklady.

V poslední době se objevují pokusy o vývoj nových akumulátorů na bázi lithium-vzduch, kde je teoretická hustota energie až na hranici 400 kWh/t. Označují se zkratkou Li-air. Tyto akumulátory jdou velmi složitě vyrobit. Vyznačují se tím, že jsou velmi lehké. Na první pohled se můžou jevit jako zajímavé řešení vzhledem k tomu, že vzdušný kyslík (tedy materiál kladné elektrody) nezvyšuje hmotnost článků. Hmotnost elektrolytu u tohoto typu akumulátorů by ale byla výrazně vyšší stejně jako u olovených akumulátorů vzhledem k tomu, že při vybíjení by tyto akumulátory produkovaly oxid lithný a naopak při nabíjení by jej rozkládali. Navíc musí tyto články obsahovat separátory, které chrání kovové lithium před účinky kyslíku a tak do budoucna není tento systém považován za perspektivní a upustilo se od něj.[10]

## 2.3 Vývěr vhodného akumulátoru pro pohon elektromobilu z hlediska jeho optimální ceny, hmotnosti a velikosti

Porovnáme-li cenu akumulátoru s kapacitou uložené elektrické energie můžeme konstatovat, že jejich závislost roste víceméně lineárně. V současné době se pohybuje okolo 10 000 Kč (bez DPH) za jednu kilowat-hodinu. Další významnou veličinou, která ovlivňuje cenu akumulátoru je napětí pohonu. Vezmeme-li v úvahu obvyklé napětí přes 320 V (nabíjecí soustava) tak to vyžaduje více než 100 článků  $\text{LiFePO}_4$ , které jsou zapojeny v sérii (3,2 V jeden článek). Za účelem vyrovnaní nabíjecích proudů musí být každý článek sledován a musí umět komunikovat s centrálním systémem pro řízení akumulátorů. Všechny tyto požadavky vyžadují spoustu elektronicky řízených obvodů (balancery, propojky, komunikační kabely, podložky CuAl) a tak se náklady na jeden nabíjecí článek akumulátoru mohou vyšplhat až na 700 Kč. To je více než 70 000 Kč za celý akumulátor. Vlastní akumulátor na dojezd 100 km může stát v extrémním případě až 150 000 Kč a tak se nám vyplatí konstruovat pohony elektromobilů s menším dojezdem na napětí 80-120V. To znamená méně propojek, balancerů, CuAl podložek na méně článků s vyšší kapacitou přičemž cena akumulátoru se ve výsledku nezmění. Protože je možné použít zejména levnější typy výstupního invertoru a levnější tranzistory na nižší napětí tak i cena samotných frekvenčních měničů je výrazně nižší. Proudů přes 300 A vyžadují obvykle i vyšší průřez samotných kabelů ale jejich vliv na konečnou cenu je v porovnání s ostatními hledisky zanedbatelný. Běžná hmotnost akumulátorů u automobilů s celkovou hmotností pohybující se kolem 2200 kg je 300kg. Zvýšíme-li hmotnost vozidla o dalších 200 kg tak zvýšíme i velikost valivého odporu elektromobilu což bude mít za následek zvětšení dojezdové vzdálenosti o dalších 150 km a to již není tak výrazné s ohledem na moderní pneumatiky s obsahem siliky. Můžeme tedy usoudit, že najít optimální velikost akumulátoru pro elektromobil je nelehká úloha. Příliš velký akumulátor zvyšuje jeho cenu a vozidlo více zatěžuje. **Můžeme tedy říci, že velikost akumulátoru by měla být přímo úměrná energetické spotřebě vozidla.** To je sice pravda ale tato závislost je silně potlačena vlastnostmi elektropohonu a to zejména rekuperací.

Skutečnost, že jsou lithiové akumulátory pro pohon elektromobilů vůbec jedny z nejdražších na trhu je dána tím, že jsou velmi složité na výrobu. Výrobní podmínky a chemické procesy musí být naprosto přesné a z toho důvodu se používají speciální výrobní zařízení, která ale mají pochopitelně svoji cenu a ta se musí někde projevit. Vezmeme-li v úvahu, že lithiový akumulátor pro pohon elektromobilu může stát i s elektronikou 3500 euro s výdrží při každodenním používání 9 let. Pořád je to zajímavé téma na přemýšlení, protože stejné peníze za pohonné hmoty utratíme rozhodně rychleji.[10]



## 2.4 Zásady bezpečnosti

Lithium je velmi hořlavý materiál, který nemůžeme hasit vodou, protože rozkládá vodu na kyslík a vodík. Jeho zápalná teplota je velmi závislá na vlhkosti a může se vznítit již při teplotě 136 °C. Proto je potřeba otázce bezpečnosti věnovat patřičnou pozornost a to zejména při nabíjení.

Otázku bezpečnosti bych tedy shrnul do několika následujících bodů:

1. Najít bezpečné místo pro akumulátory ve vozidle a počítat s jejich deformací a pohybem při případné havárii. Nedoporučuje se je umísťovat za nebo pod sedadla cestujících, protože by mohlo dojít k jejich zranění. Snažit se omezit jejich hmotnost a vyztužit místa umístění ochrannými pevnými nosníky. V případě, že akumulátor vlivem kinetické energie opustí vozidlo je vhodné jej opatřit pevným pohyblivým spojením, které omezí nebo zabrání jeho nekontrolovatelnému vzdálení od vozidla.
2. Instalovat mechanické tlačítko Central-Stop, které odpojí nabíječku akumulátoru, elektromotor a samotný akumulátor od sítě. Tlačítko by mělo být umístěno na vhodném místě u řidiče pro případ jeho rychlého použití.
3. Akumulátory používat zejména v nehořlavých obalech (samozhášivé nebo nehořlavé plasty). Akumulátory umísťovat do více oddělených částí, případná možná řetězová reakce hoření článků by pak nezasáhla všechny části akumulátorů.
4. Při detekci otevření nebo porušení boxu pro přístup k akumulátorům automaticky odpojit nabíjecí soustavu, elektropohon a samotný akumulátor. Box na akumulátory musí být nehořlavý, vodotěsný, dostatečně mechanicky pevný a musí mít zabezpečené odvětrávání.
5. Užívat ve velké míře v elektronických obvodech jističe, proudové chrániče, tepelné pojistky a jiné ochrany proti zkratu například při nehodě (zaplavení, porucha izolace živých částí a ochrana při dotyku živých částí).
6. Během hoření nebo mechanickým poškození článků akumulátorů zabezpečit hlídání jejich teploty a to na každém článku akumulátoru, protože během hoření se nemusí změnit jejich elektrické vlastnosti ale vzroste teplota, která může způsobit až jejich následnou explozi.
7. Systém pro řízení ochrany akumulátorů musí být zabezpečen proti vlastním chybám. Musí obsahovat několikanásobné ochrany například při poklesu nebo růstu celkového napětí akumulátoru.
8. Používat akumulátory výhradně určené pro automobilový průmysl a trakci, které splňují příslušné normy a jsou vhodně zabezpečeny.[10]

## 2.5 Výběr vhodného typu akumulátoru pro pohon elektromobilu

Budeme-li vycházet ze základních požadavků uvedených v kapitole 2.1 pro ideální akumulátor. Dojdeme k závěru, že jako nejvhodnější se jeví akumulátory na bázi lithia. Vezmu-li v úvahu i další skutečnosti například hmotnost, cenu a hustotu energie pro jednotlivé typy akumulátorů a ty poté porovnáme na základě tabulky 1 tak, jako jasného vítěze volím akumulátor (lithiový článěk) čínského výrobce ThunderSky typ LPF40AH s technologií výroby  $\text{LiFePO}_4$ , který se vyznačuje vysokou hustotou energie, malými rozměry, malou hmotností a příznivou cenou. Vezmeme-li v úvahu, že pro pohon elektromobilu budeme potřebovat napětí 80-120V (počítáme pro 120V). Bude celková cena akumulátoru složeného z 38 takovýchto článků zapojených do série 46 513 Kč ( $38 \cdot 1224 = 46\,513$ ). Jeho hmotnost bude dosahovat hranice 57 kg ( $38 \cdot 1,5 = 57$ ). V uvedených výpočtech není zahrnuta cena a hmotnost elektroniky a propojovacích zařízení.

Tabulka 1 výběr vhodného akumulátoru pro pohon elektromobilu

výrobce	typ	U	kapacita	hmotnost	rozměry [mm]			cena	TECHNOLOGIE výroby
-	-	[V]	[Wh]	[kg]	délka	šířka	výška	[Kč s DPH]	-
Thundersky	LPF40AH	3,2	128	1,5	116	119	46	1 224	$\text{LiFePO}_4$
Thundersky	LPF60AH	3,2	192	2,5	115	215	61	1 836	$\text{LiFePO}_4$
Thundersky	LPF90AH	3,2	288	3	145	220	68	2 754	$\text{LiFePO}_4$
GWL/POWER	LFP100AHA	3,2	320	3,4	145	220	68	4 040	$\text{LiFePO}_4$
GWL/POWER	LFP020AHA	3,2	64	0,75	152	71	42	1 076	$\text{LiFePO}_4$
YUCELL	PG12-12	12	144	4	151	98	95	750	GEL (olověný akumulátor)
BANNER	DB 24	12	288	9,6	137	176	126	3 460	GEL (olověný akumulátor)
Kokam	SLPB 100216216 H	3,7	148	1,1	220	215	10,7	45 024	Li-pol
Kokam	SLPB 100216216 H	3,7	148	1,1	220	215	10,7	70 241	Li-pol
Traxxas	3S1P	11,1	93,24	-	44	45	135	3 704	Lipol





*Obrázek 4: lithiový článek čínského výrobce Thunder-Sky typ LPF40AH [11]*

## 3 VÝBĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTRICKÝCH KOL

### 3.1 Úvod do problematiky elektrických kol

Elektrická kola se vyznačují jako šetrný a perspektivní prostředek osobní dopravy. Vysoké pořizovací náklady, které zatím brání jejich velkému rozšíření jsou vyváženy jejich velmi levným a ekologickým provozem.



*Obrázek 5: Městské elektrické kolo Citybikes MyCity Edison III, výkon motoru 250W [12]*

Nové elektrokolo se u nás dá pořídit za cenu od 20 000 Kč s DPH (duben 2012). Značný vliv na konečnou cenu elektrokola má typ a kapacita akumulátoru, systém pohonu a umístění elektromotoru, celkové zpracování elektrokola (typ a kvalita použitých materiálů). Při koupi elektrokola máme na výběr koupit hotové sériové elektrokolo přímo od výrobce nebo koupit jednotlivé díly a postavit elektrokolo svépomocí. O pohon elektrokola se nejčastěji stará bezkartáčový stejnosměrný motor (anglická zkratka BLDC), který je umístěn přímo v náboji zadního nebo předního kola. Zkušenosti z provozu nepotvrzují, že by byl pohon v předním kole výrazně lepší, než pohon v kole zadním ostatně existují i elektrokola s pohonem umístěným v předním i zadním kole současně. Průměrný výkon elektromotoru pro pohon elektrokola je 500W. Zde je třeba zdůraznit evropské normy, které říkají, že aby na elektrokolo bylo pohlíženo z hlediska zákona, jako na klasické jízdní kolo nesmí jeho maximální výkon elektropohonu překročit hodnotu 250W. Jeho maximální rychlost nesmí překročit 25 km/h a montáž pohonného systému nesmí znatelně zasahovat do jeho nosných částí. Z toho tedy logicky vyplývá, že při koupi sériově vyráběného kola od výrobce by tyto výše uvedené parametry měli být dodrženy. Ve většině případů to bývá tak, že jsou elektronicky omezeny.

Tím samozřejmě nechci říct, že by na trhu neexistovali elektrokola, která tyto zákonem stanovené parametry nepřesahují. Nicméně se z hlediska zákona už o elektrokola nejedná (mají status elektrokola jenom z hlediska konstrukce) a je na ně pohlíženo jako na motocykl. Tolik slov tedy úvodem a nyní se pojďme věnovat jeho nejdůležitější části, kterou je akumulátor.



*Obrázek 6: Terénní horské kolo MagicPie 750W/36V, aku 12Ah LiFePO<sub>4</sub> – domácí přestavba [13]*

V současné době nejlevnějším a nejrozšířenějším typem pro pohon elektrokol jsou klasické olověné akumulátory. Jejich velkou nevýhodou při použití v elektrokolech je hlavně jejich velká hmotnost, omezená možnost recyklace a pomalé nabíjení. Preferují se proto akumulátory niklové (NiMH) nebo lithiové (Li-ion, Lipol, LiFePO<sub>4</sub>) u kterých platí, že s jejich cenou stoupá úměrně i jejich životnost. Mají větší počet nabíjecích cyklů a jsou lehčí. Ve výsledku můžeme tedy říci, že jejich pořizovací náklady jsou srovnatelné s olověnými akumulátory. Špičkou ledovce a v současnosti nejlepšími akumulátory používanými v těchto dopravních prostředcích jsou akumulátory na bázi lithia a to konkrétně akumulátory označené zkratkou LiFePO<sub>4</sub>. V porovnání s akumulátory Li-ion nebo Li-pol nabízí LiFePO<sub>4</sub> vyšší účinnost, vyšší životnost a menší hmotnost. Vyznačují se taky velkou odolností proti přebíjení a proti mechanickému poškození. Jejich prozatím velkou nevýhodou je pořizovací cena, kterou ale jeho přednosti hravě vyrovnají.

### 3.2 Výběr vhodného typu akumulátoru pro pohon elektrokola

Budeme-li brát v úvahu i regenerativní brzdění potřebujeme akumulátor o jmenovitém napětí 24V nebo 36V a kapacitě alespoň 10Ah se schopností dodávat poměrně velký proud a taky se velkými proudy nabíjet. Dále by se měl akumulátor vyznačovat vysokou hustotou energie a neměl by trpět žádným paměťovým efektem, jinak by při regenerativním brzdění velmi rychle ztratil svoji kapacitu. Významnou roli při výběru akumulátoru hraje taky jeho velikost a hmotnost, aby při vypnutém motoru zbytečně fyzicky nezatěžoval cyklistu. Jistě by nás měl taky zajímat i počet nabíjecích cyklů akumulátoru a jeho cena a dostupnost.

V úvahu tedy připadají například výše zmiňované články na bázi lithia (LiFePO<sub>4</sub>, Li-ion, Lipol) nebo bezúdržbové olověné akumulátory. Ostatní články jakými jsou například NiMH nebo NiCd se vyznačují relativně velkým vnitřním odporem, trpí paměťovým efektem a mají malou elektrochemickou účinnost z toho důvodu tedy nemá vůbec cenu se posledními dvěma jmenovanými zabývat. Nehledě na to, že od kadmia se poslední dobou upouští zejména kvůli jeho toxickým vlastnostem.

Technologie LiFePO<sub>4</sub> se svými vlastnostmi podobá článkům Lipol. Hlavní rozdíl spočívá v možnosti nabíjení vysokými proudy a to až do výše 11A ve prospěch článků LiFePO<sub>4</sub> a tím se v podstatě urychlí celý nabíjecí proces. Velkou předností článků LiFePO<sub>4</sub> je počet nabíjecích cyklů. Díky uvedeným vlastnostem jsou velmi oblíbeným zdrojem pro pohon elektrických náradí. Pro dlouhý a bezproblémový provoz by měli být vybaveny články LiFePO<sub>4</sub> taky BMS. Ostatní uvedené technologie už nejsou zdaleka tak vhodné pro pohon elektrokola.

Olověné akumulátory se nehodí kvůli své velké hmotnosti a pomalému nabíjení. Jediný rozumný důvod proč by snad mohli přijít v úvahu je zhruba čtvrtinová cena v porovnání s články Lipol a LiFePO<sub>4</sub>. Li-ion články mají zase poměrně velký vnitřní odpor což limituje jejich použití u výkonnějších pohonných jednotek.

**Jako nejvhodnější volbu pro pohon elektrokola tedy volím články LiFePO<sub>4</sub> eventuálně po přidání yttria kvůli zlepšení jejich mechanické odolnosti a stabilitě článků se jejich označení mění na LiFeYPO<sub>4</sub>.**

Pro srovnání jsem vybral několik akumulátorů různých výrobců s technologií výroby Li-ion,  $\text{LiFePO}_4$  a olověné akumulátory:

Tabulka 2 Výběr vhodného akumulátoru pro pohon elektrických kol

číslo řádku	výrobce	typ článků	napětí	kapacita	hmotnost	rozměry [mm]			cena
	-	-	[V]	[Wh]	[kg]	délka	šířka	výška	[Kč s DPH]
1	AVACOM	$\text{LiFePO}_4$	36	360	2,67	365	151	53	10 576
2	AVACOM	Li-ion	36	324	2,75	289,5	86,6	88,4	10 100
3	AVACOM	Li-ion	36	324	2,75	86	78	394	10 400
4	AVACOM	Li-ion	36	324	2,67	365	151	53	10 100
5	Mobile Energy	$\text{LiFePO}_4$	36	360	3,98	76	112	318	10 920
6	ELNIKA	olověný	36	432	11,2	98	95	151	2 190
7	ELNIKA	olověný	36	612	16,6	77	167	181	2 708



Obrázek 7: Samostatný akumulátor  $\text{LiFePO}_4$ , 36 V, výrobce AVACOM, 360Wh určený jako optimální varianta pro pohon elektrokola v pevném hliníkovém pouzdře vhodný pro upevnění na nosič včetně zámku [14]



## 4 VÝBĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTRICKÝCH INVALIDNÍCH VOZÍKŮ

### 4.1 Úvod do problematiky invalidních vozíků

Cena použitých elektrických invalidních vozíků začíná na částce 18 000 Kč s DPH. Každý elektrický invalidní vozík můžeme rozdělit na několik částí. Z hlediska jeho funkčnosti nás ovšem nejvíce bude zajímat část elektrická, kterou můžeme dále rozdělit na:

- POHONNOU SOUSTAVU
- AKUMULÁTOR
- ŘÍDÍCÍ SYSTÉM

Pohonná soustava elektrických invalidních vozíků je nejčastěji tvořena dvěma stejnosměrnými elektromotory o pohonném celkovém provozním napětí 24V. Na internetu můžeme najít nepřeberné množství stejnosměrných elektromotorů a mnoho z nich má universální použití. Některé z nich jsou už od výroby upraveny přímo pro pohon invalidních vozíků a obsahují i redukci otáček, takže jsou už upraveny pro rychlost, která odpovídá rychlosti běžných invalidních vozíků (0-10km/h).



Obrázek 8 Stejnosměrný elektromotor [15]

O napájení pohonné soustavy se nejčastěji starají dva olověné akumulátory zapojené do série se svorkovým napětím 12V. Na dnešním trhu můžeme nalézt velké množství akumulátorů mezi ty nejčastější používané pro pohon elektrických invalidních vozíků patří stále ještě olověné trakční akumulátory a to typy:

- AGM ( Absorbed Glass Mat batteries) – elektrolyt je nasáklý ve skelné vatě, která je umístěna mezi elektrodami
- VRLA ( Valve regulated lead acid Batterie) - jsou akumulátory řízené ventilem
- Gelové - elektrolyt těchto akumulátorů je zhuštěn ve formě gelu

Nabíjecí systém určený pro jednotlivé akumulátory je buď součástí invalidního vozíku a nebo jsi jej můžeme zakoupit jako samostatný přístroj.[24]



*Obrázek 9: Elektrický vozík TDX SP [16]*

Tabulka 3 Technická data k elektrickému vozíku TDX SP [16]

Šířka sedačky	44 - 53 cm
Hloubka sedačky	38 - 51 cm
Výška sedu	45 cm
Výška zádové opěry	48 - 64 cm
Výška područky	25 - 39 cm
Délka podnožky	29 - 47 cm
Úhlové nastavení podnožky	0° - 52°
Nastavení polohování zad	-10° - +30°
Šířka vozíku	64 cm
Výška vozíku	94 - 105 cm
Délka vozíku	116 cm (75 cm bez podnožek)
Váha vozíku	138 / 165 kg
Nosnost	140 / 180 kg
Baterie	2 x 12 V 70 Ah
Poloměr otáčení	112 cm
Výška překážky	7,5 cm
Stoupavost	9° / 16%
Výkon	2 x 340 W
Dojezd	58 km
Rychlost	6 / 8 km/h

## 4.2 Výběr vhodného typu akumulátoru pro pohon invalidního vozíku

Tabulka 2 představuje přehled typů trakčních akumulátorů, které jsem vybral pro srovnání jejich hmotnosti, ceny a schopnosti akumulovat elektrickou energii. Jako možné kandidáty pro bližší výběr do invalidního vozíku byl viděl typy LFD60 (olověný trakční akumulátor) a LP12V60AH (LiFePO<sub>4</sub>) stejných kapacit.

V tabulce 2 se nachází olovené trakční akumulátory o nominálním napětí 12V, které jsou pro pohon invalidního vozíku v dnešní době stále ještě nejpoužívanější a to zejména kvůli jejich nízké ceně a dále jsem vybral zástupce jejich možné budoucí náhrady v podobě LiFePO<sub>4</sub>/LiFeYPO<sub>4</sub> akumulátorů. Budeme-li vycházet z parametrů elektrického invalidního vozíku uvedené v tabulce 3. Tak bych mezi sebou porovnal akumulátor výrobce Johnson Control typ LFD 60 a typ LP 12V60AH výrobce GWL/POWER o shodné kapacitě 720Wh. LP12V60AH je o 7406 Kč dražší a je vybaven moderními LiFePO<sub>4</sub> články. Rozměry jsou si akumulátory velmi podobné. Vzhledem k tomu, že hmotnost akumulátoru u invalidního elektrického vozíku nehraje tak se domnívám, že použití moderních LiFePO<sub>4</sub> článků je v tomto druhu trakce zbytečné a tak volím akumulátor LFD60 výrobce Johnson Control.



Tabulka 4: Výběr vhodného akumulátoru pro pohon elektrického invalidního vozíku

výrobce	model	hmotnost	cena (s DPH)	U	druh akumulátoru	kapacita	rozměry[mm]		
-	-	[kg]	( Kč)	[V]	-	[Wh]	délka	šířka	výška
Johnson Controls	LFD140	37	3 433	12	olověný bezúdržbový	1680	513	189	223
Johnson Controls	LFS105	27	2 840	12	olověný bezúdržbový	1260	330	174	240
Johnson Controls	LFD60	17	2 250	12	olověný bezúdržbový	720	242	175	190
Johnson Controls	LFS104	20	2 548	12	olověný bezúdržbový	900	278	175	190
BANNER	Energy Bull 955 01	15	2 225	12	olověný (údržbový)	720	241	175	190
BANNER	Energy Bull 955 51	18	2 489	12	olověný (údržbový)	864	256	174	205
BANNER	Energy Bull 956 01	20	2 603	12	olověný (údržbový)	960	278	175	190
YUCELL	PG26-12	8,1	1 548	12	olověný bezúdržbový	312	175	165	125
EXIDE	DUAL AGM EP 450	19	4 709	12	olověný bezúdržbový	600	260	173	206
EXIDE	DUAL EP900	32	4 900	12	olověný bezúdržbový	1200	330	173	240
EXIDE	Exide GEL G60	21,2	5 400	12	olověný bezúdržbový	720	278	175	195
GWL/POWER	LP12V60AH	13	9 656	12	LiFePO4/LiFe YPO4	720	283	125	230
GWL/POWER	LP12V40AH	9	6 443	12	LiFePO4/LiFe YPO4	480	225	125	208
GWL/POWER	LP12V90AH	15	14 461	12	LiFePO4/LiFe YPO4	1080	283	155	248



Obrázek 10: Bezúdržbový olověný akumulátor Varta Professional BEEP CYCLE typ LFD60, 12V, 60Ah, výrobce Johnson Control určený jako optimální varianta pro pohon elektrických invalidních vozíků [17]

## 5 VÝBĚR VHODNÉHO AKUMULÁTORU PRO POHON ELEKTRICKÝCH SKÚTRŮ

### 5.1 Úvod do problematiky elektrických skútrů

Elektrické skútry jsou plnohodnotné motocykly, které jsou homologovány pro provoz na evropských silnicích. Pohonnou jednotku tvoří místo benzínového motoru nejčastěji třífázový bezkartáčový elektromotor o nominálním napětí 48V, který je zabudován přímo v zadním kole skútru. Jedná se o moderní 3 pólový bez-uhlíkový pulsní motor, který obsahuje permanentní magnety a tři datové snímače polohy, které se starají o přesný a hospodárný průběh magnetického pole ve všech fázích jízdy. Tím je zajištěn silný kroutící moment již od nízkých otáček a vysoká účinnost motoru (90%). Výrobci garantují jeho životnost až 100 000 ujetých kilometrů. Průměrný výkon elektromotoru je 3-4 KW. Dojezd elektrického skútru může být až 180 km.

Mezi největší výhody elektrických skútrů patří:

- Takřka nulové náklady na údržbu
- Spotřeba elektrické energie je 5-12 Kč na 100 ujetých kilometrů
- Životnost baterií 800-2000 cyklů s dvouletou zárukou (záleží na použitém druhu)
- Nulové emise škodlivin a velmi nízká hluchnost
- Jednoduchá obsluha
- Jízdu zvládne každý, kdo umí jezdit na kole ☺

Na všechny typy elektrických skútrů stačí řidičské oprávnění skupiny AM a můžeme je řídit už od 15 let. Maximální nosnost elektrického skútru je až 150kg (záleží na typu skútru). Průměrná rychlost je 40-45 Km/h a maximální se pohybuje mezi 50-70 km/h. Základní výbava každého elektrického skútru by měla obsahovat elektrický motor, řídicí jednotku, akumulátor, nabíječku, ukazatel stavu nabití akumulátoru, jistič proti proudovému přetížení motoru, nosič, zpětná zrcátka, stojánky a uzamykatelné zařízení. Je důležité zde upozornit, že současná základní výbava není systém rekuperace elektrické energie.

## 5.2 Výběr vhodného typu akumulátoru pro pohon elektrického skútru

Nejčastěji používané typy akumulátorů určené pro pohon elektrických skútrů jsou:

- Lithiové ( $\text{LiFePO}_4$ )
- Olověné- gelové (AGM)

Tabulka 5 Výběr vhodného akumulátoru pro pohon elektrického skútru

výrobce	model	napětí	kapacita	hmotnost	rozměry [mm]			cena	TECHNOLOGIE výroby
-	-	[V]	[Wh]	[kg]	délka	šířka	výška	[Kč s DPH]	-
ALARMGUARD	CJ12-40	12	480	13,2	197	165	170	1 990	Pb bezúdržbový
CBS	EVH 12390	12	468	11,5	196	130	155	2 399	Pb bezúdržbový
GM	LFP 4820M	48	960	12	150	150	300	13 565	$\text{LiFePO}_4$
GM	LFP 4830M	48	1440	18	180	190	325	18 431	$\text{LiFePO}_4$

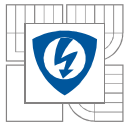
Na základě hmotnosti, schopnosti akumulovat elektrickou energii a ceny volím akumulátor výrobce Golden motor model LFP4820M (technologie výroby  $\text{LiFePO}_4$ ), který se vyznačuje malými rozměry, velkou kapacitou, maximálním vybíjecím proudem 60A a trvalým vybíjecím proudem 40A. V ceně akumulátoru je už zahrnuta veškerá elektronika a nerezový obal.



Obrázek 11 Akumulátor  $\text{LiFePO}_4$ , 48V, 20Ah, výrobce Golden motor, model LFP 4820M určený jako optimální varianta pro pohon elektrických skútrů. [18]

## 6 ZÁVĚR

V kapitole 1 jsem vytvořil přehled všech možných typů akumulátorů určených pro pohon vozidel v nezávislé trakci. Na základě poznatků uskutečněných při sestavování této kapitoly jsem došel k závěru, že vzhledem ke své nízké hmotnosti, schopnosti akumulace elektrické energie, velkým vybíjecím proudům, životnosti, počtu nabíjecích cyklů a malým rozměrům jsou nejvhodnější akumulátory na bázi Lithium-železo fosfátu. Jejich snad jedinou velkou nevýhodou je cena, která je daná zejména složitostí jejich výroby. V 2 kapitole jsem sestavil požadavky kladené na ideální akumulátor určený pro pohon elektromobilu a na základě nich jsem v podkapitolách 2.2 a 2.3 vysvětlil, proč pro pohon elektromobilu volím právě články  $\text{LiFePO}_4$ . Potom jsem na internetu vyhledal několik vhodných typů a ty mezi sebou porovnal. Zbývající 3 kapitoly se zabývají výběrem konkrétního typu akumulátoru pro pohon elektrických kol, elektrických vozíků a skútrů.



## LITERATURA

- [1] Elektromobil: Elektromobil ano či ne. *Roznovan: menu* [online]. [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.roznovan.cz/~kubis/elektromobil.php>
- [2] MARUŠINEC, Jaromír. *Konstrukce elektromobilu: Nejprodávanější elektromobily roku 2012*. 2012. PDF - prezentace.
- [3] Baterie v Elektromobilech: NiCd akumulátor. *Elektromobil: vseznamu* [online]. [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nicd-akumulatory>
- [4] Baterie v Elektromobilech: NiMH akumulátory. *Elektromobil: vseznamu* [online]. [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nimh-akumulatory>
- [5] Baterie v Elektromobilech: Olověné akumulátory. *Elektromobil: vseznamu* [online]. [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/oloveny-akumulator>
- [6] Baterie v Elektromobilech: LiFePO4 akumulátory. *Elektromobil: vseznamu* [online]. [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/lifepo4-akumulatory>
- [7] Baterie v Elektromobilech: Li-Ion baterie. *Elektromobil: vseznamu* [online]. [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/li-ion-akumulatory>
- [8] VONDRÁK Jiří a Marie SEDLAŘÍKOVÁ. *Baterie, minulost, současnost a perspektivy: Ideální akumulátor na palubě*. Prezentace v PDF. VUT BRNO.
- [9] Marušinec Jaromír, *Konstrukce elektromobilů nové generace, obr.7 Energetická hustota akumulátorů, Perspektivy elektromobility: Příloha časopisů elektro a akuma ročník 2012* [PDF dokument]. 13. vyd. Brno: FCC Public, 2012, 32 s. ISBN 1210-9592. Dostupné z: [www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz)
- [10] Marušinec Jaromír, *Konstrukce elektromobilů nové generace, Perspektivy elektromobility: Příloha časopisů elektro a akuma ročník 2012* [PDF dokument]. 13. vyd. Brno: FCC Public, 2012, 32 s. ISBN 1210-9592. Dostupné z: [www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz)
- [11] Electricmotorsport, [http://www.electricmotorsport.com/store/ems\\_ev\\_parts\\_batteries\\_lpf\\_ts\\_40ah.php](http://www.electricmotorsport.com/store/ems_ev_parts_batteries_lpf_ts_40ah.php), 2012-04
- [12] Citybikes:, <http://www.citybikes.cz/image/product/fullscreen/Elektricke-mestske-kolo-Citybikes-MyCity-Edison-III-2011-bily.jpg>, 2012-04
- [13] E-pohon:, [http://www.e-pohon.cz/fotky4744/author\\_memphis\\_magipie.JPG](http://www.e-pohon.cz/fotky4744/author_memphis_magipie.JPG), 2012-04
- [14] Avacom:, <http://www.avacom.cz/samostatna-baterie-pro-elektrokola-lifepo4-36v-10ah>, 2012-04



- 
- [15] ASI Technologies, Inc.: <http://www.asidrives.com/pdf/ald100.pdf>, 2012-04
- [16] Zdravotnická technika: Elektrický vozík TDX SP. [online]. [cit. 2012-05-30]. Dostupné z: <http://www.sivak.cz/elektricky-vozik-tdx-sp-105/>, 2012-04
- [17] Trakční baterie VARTA PROFESSIONAL DEEP CYCLE 60Ah (20h), 12V, LFD60. *Battery import: trakční baterie* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: [http://www.battery-import.cz/cms/modules/fotogalerie/fotogalerie.php?id\\_product=1935&id=46972](http://www.battery-import.cz/cms/modules/fotogalerie/fotogalerie.php?id_product=1935&id=46972)
- [18] Electric motorcycle aND KITS: LFP4820M. *Goldenmotorshop: product* [online]. [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://goldenmotorshop.com/product/110.html>
- [19] Elektrický vozík TDX SP. *Zdravotnická technika: Elektrický vozík TDX SP* [online]. [cit. 2012-05-29]. Dostupné z: <http://www.sivak.cz/elektricky-vozik-tdx-sp-105/>
- [20] Proč jsou Lithiové baterie do elektromobilů tak drahé?. FGFORTE S.R.O. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.fg-forte.cz/cz/clanek/241-proc-jsou-lithiove-baterie-do-elektromobilu-tak-drahe.aspx>
- [21] *Perspektivy elektromobility: Příloha časopisů elektro a akuma ročník 2012* [PDF dokument]. 13. vyd. Brno: FCC Public, 2012, 32 s. ISBN 1210-9592. Dostupné z: [www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz)
- [22] *Elektromobilita: Příloha časopisů elektro a akuma ročník 2012* [PDF dokument]. 9. vyd. Brno: FCC Public, 2011, 32 s. ISBN 1210-9592. Dostupné z: [www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz)
- [23] Jak invalidní vozík funguje. [online]. [cit. 2012-05-28]. Dostupné z: [http://www.ehow.com/how-does\\_4927959\\_electric-wheelchairs-work.html](http://www.ehow.com/how-does_4927959_electric-wheelchairs-work.html)
- [24] FILIPEC, Petr. *Studie elektrického invalidního vozíku*. Brno, 2009. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=17215](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17215). Bakalářská práce. VUT BRNO. Vedoucí práce ing Pavel Švejda.
- [25] Elektro-skútry:, <http://www.abs-cervinka.cz/skutry/proc-elektro-skutr.html>, 2012-04
- [26] GOLDENMOTORS TECHNOLOGY. *Goldenmotors technology* [online]. [cit. 2012-05-30]. Dostupné z: <http://www.goldenmotor.com/>
- [27] 48V20AH LiFePO<sub>4</sub> easy pack:, <http://goldenmotorshop.com/product/110.html>, 2012-04



---

## PŘÍLOHY